

Magnetic Tunnel Junctionの熱安定性係数の高速かつ高精度な評価技術に関する研究

著者	齊藤 節
雑誌名	東北大学電通談話会記録
巻	87
号	1
ページ	102-103
発行年	2018-08
URL	http://hdl.handle.net/10097/00123453

修士学位論文要約（平成30年 3 月）

Magnetic Tunnel Junction の熱安定性係数の高速かつ高精度な 評価技術に関する研究

齊藤 節

指導教員：遠藤 哲郎

A Study on Evaluation Technique of Thermal Stability with High Speed and High Accuracy for Magnetic Tunnel Junction

Takashi SAITO

Supervisor: Tetsuo ENDOH

Thermal stability Δ_0 is key factor to estimate a non-volatility of magnetic tunnel junctions with perpendicular anisotropy (p-MTJs), which is the core component of future non-volatile embedded memory and its logic applications. In order to guarantee data retention of one target p-MTJ, an evaluation method of Δ_0 with high accuracy is indispensable. However, there are some issues to be solved for establishing high accuracy evaluation method of Δ_0 . For example, Δ_0 is evaluated by iteratively applying current pulse in pulse current method. It is shown that Δ_0 is underestimated by large current due to distortion of potential caused by current disturbance with short measurement time. To solve this issue, in this thesis, we propose a novel method for evaluating the Δ_0 without underestimation quickly, in 10 minutes for one target p-MTJ. In addition, we verified the validity of our proposed method for evaluating Δ_0 .

1. はじめに

現在、大規模集積回路の待機電力削減のために不揮発性素子である Magnetic Tunnel Junction (MTJ) が注目されている¹⁾。その MTJ の不揮発性を担保するためには、不揮発性の評価指標である熱安定性係数 Δ_0 を高精度に評価する必要がある。ここで、 $\Delta_0 = E_b/k_B T$ で、 E_b は、ポテンシャル障壁、 k_B はボルツマン定数、 T は絶対温度である。しかしながら、従来手法であるパルス IV 法²⁾を用いると、MTJ の磁化反転時に大きな電流パルスが印加されることで、熱安定性係数を過小評価することが報告されており³⁾、単体 MTJ の熱安定性係数を高精度に評価する手法は未だ確立していない。このような課題を解決するために、本研究では熱擾乱を用いた、熱安定性係数を過小評価せずに評価する手法を提案し、その提案手法の妥当性の検証を行った。

2. 熱擾乱を用いた Δ_0 評価法の提案⁴⁾

提案方式のコンセプトと測定手順を図 1 に示す。提案方式では高温条件下での熱擾乱による MTJ の磁化反転によって Δ_0 を測定する。このように Δ_0 の評価時に大きな電流や磁界を印加しないため、過小評価なく測定が可能である。このようにして求めた Δ_0 をもとに、(1) 式の評価モデルによってフィッティングを行い、各温度での Δ_0 の外挿を行う。

$$\Delta_0(T) = E_b(0)(1 - \alpha T^{3/2})^2 / k_B T \propto M_s^2(T) \quad (1)$$

ここで、 $E_b(0)$ は 0 K での 2 状態を隔てるポテンシャル

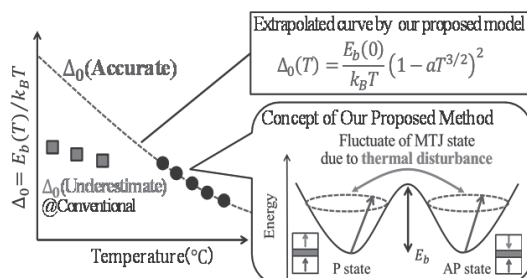


図 1 提案方式のコンセプトと測定手順。

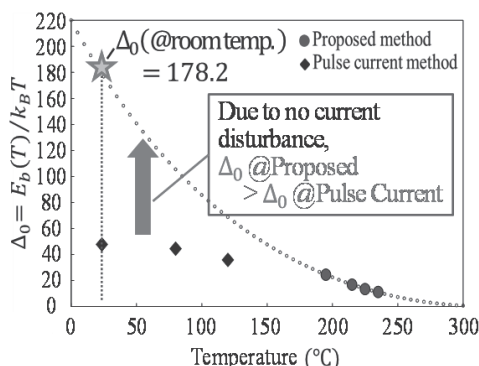


図 2 p-MTJ (70 nm) p-MTJ の Δ_0 の温度依存性。

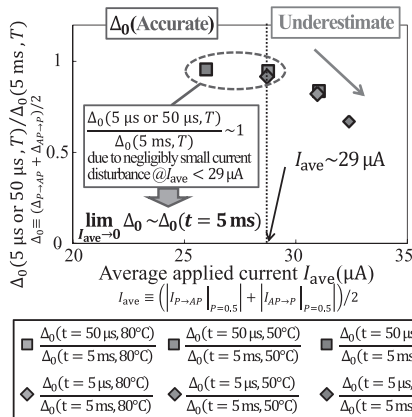


図3 p-MTJ (25 nm) の $\Delta_0(t, T) / \Delta_0(5 \text{ ms}, T)$ の平均印加電流 I_{ave} 依存性。

障壁の高さ、 α は材料に依存するパラメータ、 $M_s(T)$ は飽和磁化である。

図2に、Free層に2つのCoFeB/MgO界面を持つ70 nmの垂直磁気型MTJに対して、提案方式、従来方式であるパルスIV法で熱安定性係数を評価した結果を示す。図2より、パルスIV法で算出した Δ_0 において、評価時の大きな印加電流による過小評価が見られ、提案方式で算出した Δ_0 の方が大きいことがわかる。この結果より、提案方式によって電流による過小評価がなく熱安定性係数が評価できていることがわかり、提案方式のコンセプトを実験によって実証した。

3. 提案方式の評価モデルの妥当性検証⁵⁾

提案方式では、熱による加速試験を行うため、室温の Δ_0 を算出するためには高温から室温までの広い温度範囲で評価モデルによる値の外挿を行う必要がある。そのため、(1)式に示した評価モデルの妥当性を広い温度範囲で検証する必要がある。

次に具体的な妥当性検証方法について述べる。 Δ_0 の過小評価要因は大きな印加電流である。そのため、従来のパルスIV法において、印加電流が小さい条件で Δ_0 を測定すれば、過小評価のない Δ_0 を測定可能である。そのようにして算出した Δ_0 と、提案方式で算出した Δ_0 が一致するならば、提案方式の評価モデルは十分妥当である。以上が提案方式の評価モデルの妥当性検証方法である。

図3に $\Delta_0(t, T) / \Delta_0(5 \text{ ms}, T)$ の平均印加電流 I_{ave} 依存性を示す。ここで t はパルス幅、 T は測定温度である。図3より $I_{\text{ave}} < 29 \mu\text{A}$ で、縦軸の値がほぼ1になっていることがわかる。このことから本測定MTJ(直径25 nm)において $I_{\text{ave}} < 29 \mu\text{A}$ の条件で過小評価なく、 Δ_0 を算出可能であることを明らかにした。図4に25 nmのp-MTJの Δ_0 の温度依存性を示す。図4よりパルスIV法によって $I_{\text{ave}} <$

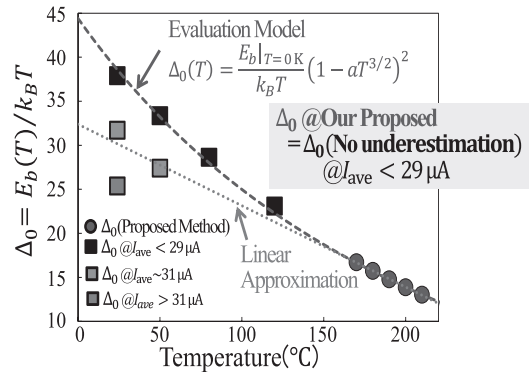


図4 p-MTJ (25 nm) の Δ_0 の温度依存性。

29 μA の条件で算出した Δ_0 と提案方式で外挿した Δ_0 が一致していることがわかる。従って、提案方式の評価モデルを用いることで、過小評価のない Δ_0 を高精度に評価可能であることを明らかにした。

4. まとめ

従来の熱安定性係数の評価手法の課題を解決する、熱擾乱を用いた単体MTJの高速かつ高精度な熱安定性係数評価法の提案を行い、実測によってコンセプトの実証を行った。加えて、提案した評価法における評価モデルの妥当性検証を行った。その結果、提案方式の評価モデルによって、熱安定性係数を過小評価することなく、高精度に評価可能であることを明らかにした。

謝辞

本研究の一部は、JST-ACCEL、JST-OPERA、キーサイト・テクノロジー・インターナショナル合同会社大学助成プログラム ACT-UR Program、CIES コンソーシアム STT-MRAM プログラムの助成を受けて行われました。また、デバイス製造と貴重な議論をしてくださった、東北大学国際集積エレクトロニクス研究開発センター 池田正二教授、本庄弘明教授、佐藤英夫准教授、伊藤顕知教授に感謝します。

文献 1) T. Endoh et al., IEEE J. Emerg. Sel. Topics Circuit Sys, 6 (2016) 109.

2) Z. Li and S. Zhang, Phys. Rev. B., 69, 134416 (2004).

3) G. D. Chaves-O'Flynn et al., Phys. Rev. Appl., 4, 024010 (2015).

4) T. Saito, ..., T. Endoh, IEEE Trans. Magn. (In Press).

5) T. Saito and T. Endoh, in Solid State Devices and Materials, Semp. 2017, pp 193 - 194.